20~35 kg 杜泊羊×湖羊 F_1 代公羔常量元素维持和生长需要量

张 浩[1,2] 郭 爽[1,2] 张冰洁[1,2] 张知之[1,2] 曹 越[1,2] 陈逸飞[1,2] 王 锋[3]

(1.扬州大学动物科学与技术学院，扬州 225009;2.扬州大学农业和农副产品安全国际联合研究实验室，扬州 2250091；3.南京农业大学江苏省肉羊产业工程技术中心，南京 210095）

摘 要：本研究采取比较屠宰法测定20~35 kg杜泊羊×湖羊（杜湖）F_1代公羔代常量元素[钙（Ca）、磷（P）、钾（K）、钠（Na）和镁（Mg）]的维持和生长需要量。选择35只杜湖F_1代公羔[初体重为（19.20±0.36） kg]作为试验动物。随机选取7只羊，体重达约20 kg时进行屠宰以测定羊体常量元素含量的初始值。再随机选取7只羊，饲喂全混合颗粒饲粮，自由采食（AL)，体重达约28 kg时进行屠宰。剩余的21只羊随机分为3个组，分别为AL组、70%AL组和40%AL组，每组7只羊。当AL组体重大约为35 kg时，这3组将被屠宰。屠宰后，测定空腹体（头+足、皮、内脏+血液和胴体）常量元素含量。结果表明：在20~35 kg体重阶段，杜湖F_1代公羔的钙、磷、钾、钠和镁维持需要量[空腹体重（EBW）为基础]分别为24.01、11.70、3.20、6.60、1.20 mg/kg EBW，生长需要量[空腹体增重(EBWG)为基础]分别为11.55~11.41 g/kg EBWG、5.82~5.77 g/kg EBWG、1.47~1.69 g/kg EBWG、0.42~0.44 g/kg EBWG和0.98~0.88 g/kg EBWG。总之，20~35 kg杜湖F_1代常量元素需要量的确定将有助于此生长阶段合理饲粮的配制，有利于羔羊生长性能的提高。

关键词:比较屠宰法；杜泊羊×湖羊 F_1 代公羔；维持需要量；生长需要量；常量元素

中图分类号：S826

常量元素需要量已经受到大量关注，某种常量元素的过量或缺乏都会干扰其他常量元素的吸收或利用，从而损害动物健康、生长性能，甚至导致其存活率下降。此外，准确预测常量元素的需要量可降低其排泄量，并降低对环境的污染[1]。矿物质既是动物机体的重要组成部分，也在体内生化过程中发挥着重要作用，矿物质缺乏或过量均会对动物健康及生长性能产生严重影响[2]，因此深入研究矿物质需要量对羊产业持续、健康发展尤为重要。纪守坤[3]对20～35 kg的杜泊羊×小尾寒羊羔羊矿物质需要量进行了研究；赵向利等[4]对35～50 kg的道赛特×小尾寒羊公羔矿物质需要量进行了研究；NRC（2007）[5]出版了关于小反刍动物的矿

收稿日期：2017-04-25
基金项目：国家现代肉羊产业体系项目（CARS39-39)；扬州大学科研启动项目(137011065)；中国博士后科学基金面上资助（2017M610358）
作者简介：张 浩（1985-），男，安徽宿州人，讲师，博士，主要从事反刍动物营养研究。E-mail zhanghao_850220@126.com

物质营养需要；Bellof等[6]对18～55 kg德国美利奴羊的矿物质需要量进行了研究；Araújo等[7]和Gomes等[8]分别对20和25 kg的萨能奶山羊的矿物质需要量进行了研究。虽然各国对肉羊矿物质需要量均进行了一些探索，但20～35 kg阶段杜湖F_1代公羔的矿物质需要量还未见报道。湖羊是我国著名的地方品种，具有早熟、四季发情、1年2胎、每胎多羔、泌乳性能好、生长发育快、改良后有理想产肉性能、耐高温高湿等优良性状，并以其漂亮的羔羊皮而闻名于世[9-10]，该品种主要分布于我国太湖地区，深受本地消费者的认可和欢迎。杜泊羊原产于南非，以其耐寒、早熟和生长快速而闻名[11]，被引进我国用来改良湖羊的生长性能和胴体性状。因此，杜泊羊×湖羊组合已成为我国许多地区肉羊生产的主要方式之一。但由于缺乏相应营养需要量的标准，在饲养过程中大多只能参照国外相关标准进行饲料配方的设计。由于国内外在肉羊品种、生长特性和饲料原料上都存在一定的差异，因此，全面套用国外营养标准可能会引起营养供给过剩造成的饲料资源浪费或营养供给不能满足动物需要等问题。同时，本研究室已在前期进行了杜湖杂交组合不同年龄的能量和蛋白质需要量的研究[12]，但还缺乏矿物质需要量，给科学精细化饲养带来困难。比较屠宰（CST）法作为一种精确、直接的测定方法被广泛用于蛋白质、能量、矿物质和微量元素需要量的制定[13-16]。本研究采用比较屠宰法，测定育肥前期20~35 kg杜湖F_1代公羔常量元素的维持和生长需要量，为完善我国肉羊饲养标准体系建设提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验在江苏省南通市南京农业大学海门山羊研发中心进行，保证羊只饲养的温度在15.5～26.5 ℃范围内，平均湿度为61.2%。整个试验过程符合南京农业大学动物科技学院动物福利管理条例。

1.2 试验设计

随机选取35只平均体重（BW）在（19.20±0.36） kg、65日龄左右的杜湖F_1代公羔为试验动物。为测定羊体常量元素含量的初始值，随机选择7只羊，BW为（19.98±0.56） kg，进行屠宰，以测定初始时机体的组成，称为起始（BL）组。羔羊自由采食（AL），当BW达到约28 kg时，再随机选取7只羊，作为中间屠宰组(IM)进行屠宰。在试验开始的同时，其余的21只羔羊随机分配至3个组，分别为AL组、70%AL组和40%AL组，根据NRC（2007）[5]，平均日增重（ADG）期望值分别可达到300、200和0 g/d。当AL组的羔羊BW达到约

35 kg 时，所有组羊只进行屠宰，屠宰前禁食禁水 16 h[15]。

1.3　基础饲粮及饲养管理

基础饲粮为全混合颗粒料，主要由玉米、大豆粉和大豆秸秆组成，精粗比约为 51:49，其组成及营养水平见表 1，AL。颗粒料的使用将避免饲粮的浪费，并有利于采食量的精确测定。

表1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet（DM basis）　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	38.60
大豆粉 Soybean meal	10.60
大豆秸秆 Soybean straw	29.44
大麦 Barley	5.00
花生壳 Peanutshell	15.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.38
石粉 Limestone	0.26
食盐 NaCl	0.50
硫酸钠 Na_2SO_4	0.10
预混料 Premix1)	0.12
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
粗蛋白质 CP	13.81
代谢能 ME/（MJ/kg）	8.89
粗脂肪 EE	1.95
中性洗涤纤维 NDF	44.65
酸性洗涤纤维 ADF	22.18
钙 Ca	0.65
磷 P	0.29
钠 Na	0.28
钾 K	0.84
镁 Mg	0.21

1)预混料为每千克饲粮提供The premix provided the following per kg of the diet:VA 15 000 IU,VD 5 000 IU,VE 50 mg,Na 32 g,K 92 g,Mg 23 g,Fe 90 mg,Cu 12.5 mg,Mn 50 mg,Zn 100 mg,Se 0.3 mg,I 0.8 mg,Co 0.5 mg。

2)营养水平均为实测值。Nutrient levels were measured values.

开始试验前进行 10 d 的预试期。对所有羊只驱虫处理，注射 0.2 mg/kg BW 的伊维菌素。每只羊饲喂于不锈钢的单栏(长 3.2 m×宽 0.8 m)中。每栏中设有自动饮水器和料槽。

羊只在每天 08：00 饲喂 1 次，AL、饮水。AL 组饲料在每天早上进行调整，以确保每天 10%的剩料量[干物质(DM)计]。每天限饲组的给料量也根据 AL 组前 1 天的干物质采食量

(DMI)进行调整。每天的饲粮样和剩料（总剩料量的 10%左右）收集并于–20 ℃进行保存。这些样品混合均匀，在 55 ℃下烘干 72 h，并研磨保存，待检测。在屠宰前 1 天的 16：00 称量体重。

1.3 屠宰程序

对试验动物进行麻醉，放血处理，血液收集并称重。记录内脏、皮、毛、头、足、胴体以及脂肪组织的重量。移除胃肠道（瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、小肠和大肠）内容物，并称重，以获得空腹体重（EWB）。EWB是由BW减去胃肠道内容物和膀胱的重量所得。羊体各部分在-6 ℃下冷冻，然后用不锈钢锯切割，研磨，混匀，并选取500 g样品进行指标测定。将这些样品解冻，选择100 g样品，冻干72 h，然后用不锈钢搅拌机进行研磨混匀。样品采集程序遵循Galvani等[17-18]的描述，并作适当修改。总之，头部和胴体沿背部中间线劈开。胴体、头部、前肢和后肢的右半部分离肌肉、脂肪和骨骼。骨骼组织经骨骼粉碎机粉碎；肌肉和脂肪组织切割成部分小块，分分别选取羊体各部500 g于–20 ℃进行保存。

1.4 化学分析

1.4.1 饲粮和剩料样品

饲粮和剩料中DM、粗灰分（Ash）含量测定方法参照AOAC（1990）[18]。钙（Ca）、磷（P）、钾（K）、钠（Na）和镁（Mg）含量测定方法采用原子发射光谱法[6,20]。

1.4.2 体组织常量元素分析

除羊毛外，其他每个体组织取100 g进行冷冻干燥处理，测定其DM含量[17]。所有样品（包含羊毛）采用原子发射光谱法测定常量元素含量。

1.5 计算方法

1.5.1 羊体常量元素初始值的计算

测定BL组羔羊空腹体常量元素含量，作为初始值。根据BL组BW数据建立EBW和BW的线性回归方程。

$$EBW=a+(b\times BW)$$ [14] 式①。

式中：EBW和BW的单位为kg。

空腹体中水分、粗灰分和常量元素含量根据式①进行换算。

1.5.2 常量元素的维持需要量计算

常量元素维持需要量的计算采用比较屠宰法进行[20]。常量元素在动物体内的沉积量可由试验末动物体内含量与初始体内含量之差计算获得。常量元素的损失量根据采食量和沉积量之差计算获得。常量元素的维持需要量可利用常量元素沉积量（mg/kg EBW）和常量元素采食量（mg/kg EBW）的线性回归关系计算所得，当常量元素采食量为0 mg/（kg EBW·d）时，其负截距即是动物内生的代谢损失常量元素，代表动物在维持情况下的常量元素需要量，单位为mg/（kg EBW·d）。

1.5.3 常量元素生长需要量计算

ARC(1980)[21]报道，体内常量元素含量可与EBW建立对数异速生长模型，并进而推导在不同EBW下的常量元素体含量。

$$\log y = a + (b \times \log x) \quad 式②。$$

式中：y为去除胃肠道内容物后，羊体含有的体常量元素量（g）；a为截距；b为回归系数；x为EBW（kg）。

式②变形求导数得到如下方程，可用于预测常量元素在不同EBW下的生长需要量。

$$y = b \times 10^{a} \times x^{(b-1)} \quad 式③。$$

式中：y为每单位空腹体增重（EBWG）所需要的常量元素量（g/kg EBWG）；x为EBW（kg）；由方式②可获得a和b的数值。

每单位体增重所需常量元素量的计算需通过宰前BW和EBW比值的转换来获得。

1.6 数据统计分析

数据分析使用 SAS 9.0 软件中的完全随机设计模型。线性回归分析采用 PROC MIXED 程序。在不同限饲水平下，DMI、粗蛋白质采食量（CPI）和代谢能采食量（MEI）、羊体常量元素含量、ADG 和 EBW 采用 PROC MIXED 程序分析。数据以平均值±2.5 倍标准差作为判断异常值的标准。差异性采用 Duncan 氏法进行比较，差异显著的判断标准为 $P<0.05$。

2 结果与分析

2.1 公羔生长性能和羊体常量元素含量

如表 2 所示，公羔的 DMI、CPI、MEI、EBW、ADG 和 EBWG 随着采食水平的提高而显著升高($P<0.05$)。公羔羊体钙、磷、钠、钾和镁含量随采食水平增加而显著降低($P<0.05$)。

表2　不同采食水平对20~35 kg杜湖F_1代公羔生长性能和羊体常量元素含量的影响

Table 2　Effects of different feeding levels on growth performance and body macroelement content of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg　（*n*=7）

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P*值 *P*-value
	BL	IM	AL	70%AL	40%AL		
干物质采食量 DMI/（kg/d）		1.18	1.33^{a}	0.91^{b}	0.58^{c}	0.34	0.03
粗蛋白质采食量 CPI/（kg/d）		0.16	0.18^{a}	0.13^{b}	0.08^{c}	0.05	0.03
代谢能采食量 MEI/（MJ/d）		10.49	11.82^{a}	8.09^{b}	5.16^{c}	3.02	0.03
体重 BW/kg	19.79	28.89	34.87^{a}	29.72^{b}	21.34^{c}	0.75	<0.01
空腹体重 EBW/kg	17.12	24.69	30.11^{a}	25.07^{b}	18.02^{c}	0.64	<0.01
平均日增重 ADG/（g/d）		278.43	269.29^{a}	177.32^{b}	27.68^{c}	24.23	<0.01
空腹体增重 EBWG/（g/d）		229.40	231.96^{a}	141.96^{b}	16.07^{c}	20.11	<0.01
钙 Ca/（g/kg EBW）	11.68	11.61	11.55^{c}	11.82^{b}	12.52^{a}	0.92	0.03
磷 P/（g/kg EBW）	5.91	5.87	5.85^{c}	5.99^{b}	6.19^{a}	0.34	0.04
钠 Na/（g/kg EBW）	1.19	1.12	1.08^{c}	1.19^{b}	1.29^{a}	0.29	0.03
钾 K/（g/kg EBW）	1.18	1.27	1.37^{b}	1.39^{b}	1.44^{a}	0.34	0.02
镁 Mg/（g/kg EBW）	0.40	0.42	0.43^{c}	0.47^{b}	0.50^{a}	0.13	0.03

同行数据肩标不同小写字母表示显著差异(*P*<0.05)，对比仅在 AL 组、70%AL 组和 40%AL 组间进行。下表同。

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and comparisons were made only among AL, 70%AL and 40%AL groups. The same as below.

2.2　公羔常量元素采食量和沉积量

如表3所示，公羔钙、磷、钠、钾和镁采食量、沉积量和沉积率均随着采食量水平的提高而显著提高（*P* <0.05）。

表3　不同采食水平对20~35 kg杜湖F_1代公羔常量元素采食量和沉积量的影响

Table 3　Effects of different feeding levels on macroelement intake and retention of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg　（*n*=7）

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	AL	70%AL	40%AL		
钙 Ca					
采食量 Intake/[mg/(kg EBW・d)]	286.65^{a}	214.23^{b}	157.98^{c}	15.06	<0.01
沉积量 Retention/[mg/(kg EBW・d)]	43.25^{a}	28.76^{b}	12.45^{c}	2.95	<0.01
沉积率 Retention rate/%	15.09^{a}	13.42^{b}	7.88^{c}	1.82	<0.01
磷 P					
采食量 Intake/[mg/(kg EBW・d)]	126.76^{a}	89.12^{b}	62.13^{c}	6.11	<0.01
沉积量 Retention/[mg/(kg EBW・d)]	23.12^{a}	10.12^{b}	6.12^{c}	2.13	<0.01
沉积率 Retention rate/%	18.24^{a}	11.36^{b}	9.85^{c}	1.02	<0.01
钠 Na					
采食量 Intake/[mg/(kg EBW・d)]	125.34^{a}	95.34^{b}	63.25^{c}	6.88	<0.01
沉积量 Retention/[mg/(kg EBW・d)]	3.82^{a}	1.34^{b}	0.45^{c}	0.24	<0.01
沉积率 Retention rate/%	3.05^{a}	1.41^{b}	0.71^{c}	0.16	<0.01
钾 K					
采食量 Intake/[mg/(kg EBW・d)]	367.34^{a}	286.34^{b}	200.12^{c}	13.65	<0.01

沉积量 Retention/[mg/(kg EBW・d)]	6.34[a]	3.07[b]	0.51[c]	0.33	0.02
沉积率 Retention rate/%	1.73[a]	1.07[b]	0.25[c]	0.17	<0.01
镁 Mg					
采食量 Intake/[mg/(kg EBW・d)]	92.12[a]	72.12[b]	50.34[c]	4.78	<0.01
沉积量 Retention/[mg/(kg EBW・d)]	2.40[a]	1.42[b]	0.78[c]	0.39	<0.01
沉积率 Retention rate/%	2.61[a]	1.97[b]	1.55[c]	0.31	<0.01

2.3 公羔常量元素维持需要量

如表4所示，常量元素沉积量和常量元素采食量具有高度相关性。因此，建立了常量元素沉积量和常量元素采食量线性回归方程。理论上，常量元素采食量为0 mg/kg EBW时的负截距是动物在维持情况下常量元素需要量，单位为mg/（kg EBW·d）。

表4 20~35 kg杜湖F_1代公羔常量元素维持需要量线性回归方程

Table 4 Linear regression equations to estimate maintenance requirements of macroelements of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg

项目 Items	线性回归方程 Linear regression equations	R^2	*P* 值 *P*-value	维持需要量 Maintenance requirements	
				mg/(kg EBW·d)	mg/(kg BW·d)
钙 Ca	y=–24.01+0.237 5x	0.988 2	<0.01	24.01	20.69
磷 P	y=–11.70+0.268 3x	0.960 5	<0.01	11.70	10.09
钠 Na	y=–3.21+0.054 0x	0.972 5	<0.01	3.20	2.76
钾 K	y=–6.59+0.034 8x	0.992 7	<0.01	6.60	5.69
镁 Mg	y=-1.21+0.038 6x	0.928 2	<0.01	1.20	1.03

y 为沉积量(mg/kg EBW)，x 为采食量(mg/kg EBW)。

y was retention (mg/kg EBW), and x was intake (mg/kg EBW).

2.4 羔羊羊体常量元素含量和生长需要量预测

如表5所示，BW和EBW之间的线性关系为：EBW=0.050 7+0.859×BW[R^2=0.96,均方根误差(RMSE)=1.11，P<0.01]。羊体常量元素含量和EBW之间建立的对数异速方程显著(P<0.01)，R^2范围为0.88~0.93。

表5 20~35 kg杜湖F_1代公羔羊体常量元素体含量（y，g/kg EBW）与空腹体重（x，kg）的异速回归线性方程

Table 5 Linear allometric regression equations between body macroelement contents （y，g/kg EBW） and EBW （x，kg） of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg

项目 Items	线性回归方程 Linear regression equations	R^2	均方根误差 RMSE	*P* 值 *P*-value	体重 BW/kg			
					20	25	30	35
空腹体重 EBW	EBW=0.050 7+0.859×BW	0.96	1.11	<0.01	17.23	21.53	25.82	30.12
钙 Ca	Log$y$=1.092 5+0.979 7×Log$x$	0.92	0.02	<0.01	11.68	11.63	11.58	11.55
磷 P	Log$y$=0.787 0+0.986 9×Log$x$	0.91	0.05	<0.01	5.90	5.88	5.86	5.85
钠 Na	Log$y$=0.293 0+0.824 1×Log$x$	0.93	0.04	<0.01	1.19	1.14	1.11	1.08
钾 K	Log$y$=-0.240 8+1.251 8×Log$x$	0.88	0.06	<0.01	1.18	1.24	1.30	1.36
镁 Mg	Log$y$=-0.459 2+1.052 9×Log$x$	0.93	0.03	<0.01	0.40	0.41	0.42	0.43

如表 6 所示，根据表 5 的对数异速方程进而建立了常量元素生长需要量预测方程，计算

每单位 EBWG 的常量元素生长需要量。

表6　20~35 kg杜湖F_1代公羔常量元素生长需要量预测方程及在不同体重阶段每单位空腹体增重(y,kg)的常量元素生长需要量（x，g/kg EBWG）

Table 6　Prediction equations of growth requirements of macroelements and growth requirement of macroelements （x，g/kg EBWG） per unit EBWG （y，kg） under different body weight stages of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg

项目 Items	体重 BW/kg				公式 Equations
	20	25	30	35	
空腹体重 EBW/kg	17.23	21.53	25.82	30.12	
钙 Ca/(g/kg EBWG)	11.55	11.49	11.45	11.41	y=12.234 1$x^{-0.020\ 3}$
磷 P/(g/kg EBWG)	5.82	5.80	5.78	5.77	y=6.043 3$x^{-0.013\ 1}$
钠 Na/(g/kg EBWG)	0.98	0.94	0.90	0.88	y=1.618 0$x^{-0.175\ 9}$
钾 K/(g/kg EBWG)	1.47	1.59	1.64	1.69	y=0.719 0$x^{0.251\ 8}$
镁 Mg/(g/kg EBWG)	0.42	0.43	0.43	0.44	y=0.365 8$x^{0.052\ 9}$

2.5　20~35 kg 杜湖 F_1 代公羔羊活体 ADG 的常量元素生长需要量

如表7所示，为计算羊活体常量元素ADG的生长需要量，空腹体ADG常量元素的生长需要量将除以对应的BW/EBW。而其对应的BW/EBW在20、25、30和35 kg分别为1.14、1.15、1.15、1.17。随着BW增加，钙、磷和钠相同活体ADG的生长需要量下降；钾和镁相同活体ADG的生长需要量增加。

表7　20~35 kg杜湖F_1代公羔活体平均日增重的常量元素生长需要量

Table 7　Macroelement growth requirements for live average daily gain of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	生长需要量 Growth requirement/(mg/d)				
		钙 Ca	磷 P	钠 Na	钾 K	镁 Mg
20	100	996	502	85	98	36
	200	199 2	100 4	170	196	72
	300	298 8	150 6	255	294	108
25	100	991	500	81	137	37
	200	198 2	100 0	162	274	74
	300	297 3	150 0	243	411	111
30	100	987	498	78	141	37
	200	197 4	996	156	282	74
	300	296 1	149 4	234	423	111
35	100	984	497	76	146	38
	200	196 8	994	152	292	76
	300	295 2	149 1	228	438	114

3　讨　论

3.1　常量元素维持需要量

通常采用析因法来确定不同种类动物的常量元素需要量，此法获得的营养需要量模型是一个动态模型，即分别对不同BW下的维持和生长需要量进行估算[23]。目前，NRC(2007)[5]、

NRC(2001)[24]、NRC(2000)[25]以及Suttle[26]的报道中均已采纳析因模型，该模型将动物的矿物质需要量分为 2 部分：维持和生长需要量，模型公式为：$GR=(P+M)/A$（GR为总需要量；P为生长需要量；M为维持需要量；A为营养吸收利用率）。可见，精确测定羔羊矿物质生长和维持需要量是建立矿物质需要量模型的一个重要环节。

在动物的骨骼和牙齿中，钙和磷占据较大比例，是重要的组成成分，且钙和磷能够提高体内相关酶的活性，并促进神经兴奋性的传导。在生产实践中，钙和磷作为添加量相对较大的常量元素，在配制饲粮时，是必须慎重考虑的重要因素[23]。本研究结果显示，育肥前期杜湖F_1代公羔钙维持需要量为20.69 mg/kg BW。该数值高于ARC（1980）[22]采用内源粪损失法得到的绵羊钙维持需要量(16 mg/kg BW)。Fernandes等[15]报道BW在20~35 kg波尔杂交公山羊采取比较屠宰法和最小内源损失(MEL)法所得钙维持需要量分别为27.4和16.1 mg/kg BW。以上结果差异主要是由于试验方法学和动物品种等不同所引起。

在动物生长发育过程中，磷起到非常重要的作用。在实际生产实践中，磷随着粪、尿等废弃物而被排除动物机体外，并对环境产生一定污染。所以，国内外研究者对磷的需要量研究颇为关注。在反刍动物中，关于磷的维持需要量报道差别很大。本研究结果显示，20~35 kg杜湖F_1代公羔磷维持需要量为10.09 mg/kg BW，该数值低于Fernandes等[15]、Ji等[27]和NRC（1985）[28]报道的磷维持需要量。此外，ARC(1965)[29]报道绵羊的磷维持需要量为42.5 mg/kg BW，此数值由ARC（1980）[22]根据内源损失法降为14 mg/kg BW。磷的内源损失受采食量和饲粮质量等因素影响[30]。唾液中磷也在磷的代谢中起重要作用[5]。此外，当毛发和头屑等从动物体脱落时，磷的损失也同样可能会发生。以上因素可能能够解释不同研究者对磷维持需要量的研究结果差异很大。

在动物机体中，钠和钾作为电解质，起较为重要的作用，能够维持机体渗透压，并控制机体的水代谢。本研究通过比较屠宰法计算得出20~35 kg杜湖F_1代公羔钠和钾的维持需要量。这些数值结果有别于以往的报道[5,31]。Meschy[31]报道育肥期绵羊钠和钾的维持需要量分别为15和50 mg/kg BW。ARC(1980)[22]采用内源粪尿法所得育肥期绵羊钾的维持需要量为38 mg/kg BW；NRC(2007)[5]报道钠的维持需要量为10.8 mg/kg BW。以上报道数值均显著高于本研究所得结果。除排泄的粪、尿含钠、钾外，钠和钾还通过皮肤流汗的形式损失，尤其在炎热潮湿的气候地区[15]。以上因素可能造成各研究者报道结果不同。

在动物机体中，镁占较大比例，起重要生理作用，能够构成和激活相关的酶，并能够保证神经和肌肉适度兴奋。在饲草中，镁的含量一般变化较大，因此，在实际生产中，易发生镁元素的缺乏和过量现象[32]。许多因素影响饲粮中镁的吸收和需要，包括钾、钙、磷、铝、铁、钠、蛋白质、脂肪、有机酸、碳水化合物类型、镁状态以及饲喂频率等[33]。本研究结果显示，20~35 kg杜湖F_1代公羔镁维持需要量为1.03 mg/kg BW，结果低于NRC（2007）[5]报道的育肥期绵羊镁维持需要量3 mg/kg BW。关于育肥期绵羊的镁维持需要量的报道甚少，所以很难与本研究中所得结果进行大量对比，而对于造成不同结果的原因需进一步研究。

3.2　常量元素生长需要量

动物机体的生长发育相对复杂，研究角度的不同也决定了研究内容的差异。从生化角度来看，动物机体的生长过程就是机体中蛋白质、能量、矿物质和水分等营养成分在体内不断积累的生理过程[23]。因此，在满足动物机体不同生长速度下，营养物质的沉积需要量就是其相应的生长需要量。NRC（2007）[5]报道绵羊的常量元素生长需要量分别是钙11 g/kg EBWG，磷6.0 g/kg EBWG，钠1.1 g/kg BWG（体增重），钾1.8 g/kg BWG，镁0.41 g/kg BWG。本研究中，20~35 kg公羔的生长需要量分别为钙11.55~11.41 g/kg EBWG、磷5.82~5.77 g/kg EBWG、钾1.47~1.69 g/kg EBWG、镁0.42~0.44 g/kg EBWG和钠0.98~0.88 g/kg EBWG。本研究结果所示，对于公羔，钙的生长需要量高于NRC（2007）[5]报道；钠、磷和钾的生长需要量低于NRC（2007）[5]报道；而镁的生长需要量与NRC（2007）[5]报道相近。在本试验条件下，以上结果的不同表明了我国杜湖F_1代羔羊常量元素需要量的特异性。

4　结　论

①20~35 kg 杜湖 F_1 代公羔常量元素维持需要量为钙 24.01 mg/kg EBW、磷 11.70 mg/kg EBW、钠 3.20 mg/kg EBW、钾 6.60 mg/kg EBW、镁 1.20 mg/kg EBW。

②20~35 kg杜湖F_1代公羔常量元素生长需要量为钙11.55~11.41 g/kg EBWG、磷5.82~5.77 g/kg EBWG、钾1.47~1.69 g/kg EBWG、镁0.42~0.44 g/kg EBWG和钠0.98~0.88 g/kg EBWG。

参考文献:

[1] CHIZZOTTI M L,DE CAMPOS V F S,TEDESCHI L O,et al.Net requirements of calcium,magnesium,sodium,phosphorus,and potassium for growth of Nellore×Red Angus bulls,steers,and heifers[J].Livestock Science,2009,124(1/2/3):242–247.

[2] 王岗.绵羊矿物质营养研究的最新进展及其对中国养羊生产可能产生的影响[J].动物营养学报,1998,10(1):1–11.

[3] 纪守坤.20~35 kg 杜泊×小尾寒羊 F_1 代羔羊体内主要矿物质分布规律及需要量参数的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[4] 赵向利,杨佳栋,张雅飞,等.35~50 kg 道赛特×小尾寒羊杂交公羔矿物质需要量研究[J].动物营养学报,2016,28(3):739–746.

[5] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2007.

[6] BELLOF G,PALLAUF J.Deposition of major elements in the body of growing lambs of the German Merino Land sheep breed[J].Small Ruminant Research,2007,73(1/2/3):186–193.

[7] ARAÚJO M J,MEDEIROS A N,TEIXEIRA I A M A,et al.Mineral requirements for growth of Moxotó goats grazing in the semi-arid region of Brazil[J].Small Ruminant Research,2010,93(1):1–9.

[8] GOMES R A,OLIVEIRA-PASCOA D,TEIXEIRA I A M A,et al.Macromineral requirements for growing Saanen goat kids[J].Small Ruminant Research,2011,99(2/3):160–165.

[9] YUE G H.Reproductive characteristics of Chinese Hu sheep[J].Animal Reproduction Science,1996,44(4):223–230.

[10] NIE H T,WAN Y J,YOU J H,et al.Effect of age on energy requirement for maintenance and growth of dorper and Hu crossbred F_1 ewes weighing 20 to 50 kg[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(8):1140–1149.

[11] CLOETE S W P,SNYMAN M A,HERSELMAN M J.Productive performance of Dorper sheep[J].Small Ruminant Research,2000,36(2):119–135.

[12] 聂海涛. 杜湖杂交肉羊育肥期能量、蛋白需要量的确定及不同 RFI 组肉羊生产性能和生长轴基因表达量差异性研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2014.

[13] CHIZZOTTI M L,FILHO S C V,TEDESCHI L O,et al.Energy and protein requirements for growth and maintenance of F Nellore×Red Angus bulls,steers,and heifers[J].Journal of Animal Science,2007,85(8):1971–1981.

[14] FERNANDES M H M R,RESENDE K T,TEDESCHI L O,et al.Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids[J].Journal of Animal Science,2007,85(4):1014–1023.

[15] FERNANDES M H M R,RESENDE K T,TEDESCHI L O,et al.Macromineral requirements for the maintenance and growth of Boer crossbred kids[J].Journal of Animal Science,2012,90(12):4458–4466.

[16] DE SOUZA C M S,MEDEIROS A N,COSTA R G,et al.Micromineral nutritional requirements for weight gain in Canindé goats under grazing in the brazilian semiarid[J].Acta Scientiarum Animal Sciences,2013,35(2):173–179.

[17] GALVANI D B,PIRES C C,KOZLOSKI G V,et al.Energy requirements of Texel crossbred lambs[J].Journal of Animal Science,2008,86(12):3480–3490.

[18] GALVANI D B,PIRES C C,KOZLOSKI G V,et al.Protein requirements of Texel crossbred lambs[J].Small Ruminant Research,2009,81(1):55–62.

[19] AOAC.Official methods of analysis[M].15th ed.Arlington:AOAC,1990.

[20] BELLOF G,MOST E,PALLAUF J.Concentration of Ca,P,Mg,Na and K in muscle,fat and bone tissue of lambs of the breed German Merino Landsheep in the course of the growing period[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2006,90(9/10):385–393.

[21] LOFGREEN G P,GARRETT W N.A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle[J].Journal of Animal Science,1968,27(3):793–806.

[22] ARC.The nutrient requirements of ruminant livestock:technical review[M].London:Commonwealth Agricultural Bureaux,1980.

[23] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2001.

[24] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2001.

[25] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2000.

[26] SUTTLE N F.Mineral nutrition of livestock[M].4th ed.Wallingford:CABI,2010.

[27] JI S J,XU G S,JIANG C G,et al.Net phosphorus requirements of dorper×thin-tailed han crossbred ram lambs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2013,26(9):1282–1288.

[28] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].6th ed.Washington,D.C.:National Academies Press,1985.

[29] ARC.The nutrient requirements of ruminant livestock:technical review[M].London:Commonwealth Agricultural Bureaux,1965.

[30] SUTTLE N F,ARMSTRONG D G,BRAITHWAITE G D, et al.A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle[M]//Agricultural and Food Research Council:technical committee on responses to nutrients report No.6.[S.l.]:CAB International,1991:573–612.

[31] MESCHY F.Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats[J].Livestock Production Science,2000,64(1):9–14.

[32] MCDOWELL L R,CONRAD J H,ELLIS G L,et al.Minerals for grazing ruminants in tropical regions[M].Gainseville:University of Florida,1983.

[33] FONTENOT J P,ALLEN V G,BUNCE G E,et al.Factors influencing magnesium absorption and metabolism in ruminants[J].Journal of Animal Science,1989,67(12):3445–3455.

Macroelement Requirements for Maintenance and Growth of Dorper×*Hu* F_1 Male Lambs Weighted 20 to 35 kg

ZHANG Hao[1,2*] GUO Shuang[1,2] ZHANG Bingjie[1,2] ZHANG Zhizhi[1,2] CAO Yue[1,2] CHEN Yifei[1,2] WANG Feng[3]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China*； 2. *Joint International Research Laboratory of Agriculture* & *Agri-Product Safety*, *Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China*； 3. *Jiangsu Engineering Technology Research Center of*

Author, ZHANG Hao, lecturer, E-mail: E-mail: zhanghao_850220@126.com (责任编辑　王智航)

Mutton Sheep & *Goat Industry*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *China*）

Abstract: A comparative slaughter trial was conducted to estimate the macroelement [calcium (Ca), phosphor (P), potassium (K), sodium (Na) and magnesium (Mg)] requirements for maintenance and growth of Dorper×*Hu* F_1 male lambs weighted 20 to 35 kg. Thirty-five male lambs [initial body weight (BW) was (19.20±0.36) kg] were used as experimental animals. Seven lambs were randomly chosen and slaughtered at about 20 kg BW for measuring initial body macroelement contents. Another seven lambs were also randomly chosen and offered a pelleted mixed diet *ad libitum* (AL) and slaughtered at about 28 kg BW. The remaining 21 lambs were randomly allocated to 3 groups, which were AL, 70%AL and 40%AL groups, each group had 7 lambs. All lambs were slaughtered when lambs in AL group reached approximately 35 kg BW. Macroelement contents of empty body (head+feet, hide, internal organs+blood, and carcass) of lambs were determined. The results showed as follows: at 20 to 35 kg BW, Ca P, Na, K and Mg requirements for maintenance [based on empty body weight (EBW)] of Dorper×*Hu* F_1 male lambs were 24.01, 11.70, 3.20, 6.60 and 1.20 mg/kg EBW, and those for growth [based on empty body weight gain (EBWG)] were 11.55 to 11.41 g/kg EBWG, 5.82 to 5.77 g/kg EBWG, 1.47 to 1.69 g/kg EBWG, 0.42 to 0.44 g/kg EBWG, and 0.98 to 0.88 g/kg EBWG. In conclusion, the determination of macroelement requirements may help to formulate more balanced diets for Dorper×*Hu* male lambs in the growth phase of 20 to 35 kg BW and improvement of growth performance of lambs.

Keywords: comparative slaughter method; Dorper×*Hu* F_1 male lambs; maintenance requirement; growth requirement; macroelement